



(11) **EP 1 675 971 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**19.05.2010 Patentblatt 2010/20**

(51) Int Cl.:  
**C23C 4/04<sup>(2006.01)</sup> C23C 4/12<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **04786991.2**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2004/010675**

(22) Anmeldetag: **23.09.2004**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2005/031026 (07.04.2005 Gazette 2005/14)**

(54) **VERFAHREN ZUR BESCHICHTUNG EINER SUBSTRAT-OBERFLÄCHE UNTER VERWENDUNG EINES PLASMASTRAHLES**

METHOD FOR COATING A SUBSTRATE SURFACE USING A PLASMA BEAM

PROCEDE DE REVETEMENT DE LA SURFACE D'UN SUBSTRAT AVEC UTILISATION D'UN JET DE PLASMA

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

(74) Vertreter: **Luchs, Willi**  
**Luchs & Partner AG**  
**Patentanwälte**  
**Schulhausstrasse 12**  
**8002 Zürich (CH)**

(30) Priorität: **26.09.2003 CH 163903**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**05.07.2006 Patentblatt 2006/27**

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A-01/32949 WO-A-03/029762**  
**DE-A- 19 807 086 JP-A- 11 043 759**

(73) Patentinhaber: **Dvorak, Michael**  
**3602 Thun (CH)**

- **SCHUETZE A ET AL: "THE ATMOSPHERIC-PRESSURE PLASMA JET: A REVIEW AND COMPARISON TO OTHER PLASMA SOURCES" IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, IEEE INC. NEW YORK, US, Bd. 26, Nr. 6, Dezember 1998 (1998-12), Seiten 1685-1694, XP002933885 ISSN: 0093-3813**

(72) Erfinder: **Dvorak, Michael**  
**3602 Thun (CH)**

**EP 1 675 971 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 ein Verfahren zur Beschichtung einer Substratoberfläche unter Verwendung eines Plasmastrahles gemäss dem Oberbegriff des Anspruches 1 sowie eine Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 12.

**[0002]** Es ist bekannt, mittels eines Plasmastrahles hochschmelzende Schichten auf eine Substratoberfläche aufzutragen, indem geeignete Stoffe wie z.B. Wolfram oder Oxidkeramik in Pulverform in einen Plasmafreistrahl zugeführt werden. Es handelt sich dabei um sogenannte thermische Plasmen, bei denen im Kern des austretenden freien Plasmastrahles Temperaturen bis zu 20'000°C herrschen. Die Plasmastabilisierung findet hierbei durch hohe Stromstärken (> 200 A) und einfach zu ionisierende Gase statt. Ein derartiges Plasma bedingt eine hohe Temperaturbelastung des zu beschichtenden Bauteiles. Findet der Beschichtungsvorgang unter Atmosphäre statt, oxidieren ausserdem metallische Beschichtungswerkstoffe teilweise. Daher ist der Verwendungsbereich sehr eingeengt. Die Beschichtung und oder Verarbeitung niedrighschmelzender Werkstoffe ist, wenn überhaupt, nur durch eine äusserst aufwendige Prozessführung und dem Einsatz starker Kühlung möglich.

**[0003]** In der Druckschrift WO 03/029762 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Zuführung dosierter Mengen eines feinkörnigen Schüttgutes erläutert.

**[0004]** Es ist ausserdem erwähnt, dass mit einer solchen Vorrichtung Stoffe dosiert unter oder ohne Druck in einen Beschichtungsprozess, z.B. Plasma-Pulver-Auftragsschweissen, und anderen zugeführt werden können, was als allgemeiner Hinweis zu verstehen ist.

**[0005]** In der Druckschrift WO 01/32949 ist ein Verfahren zur Beschichtung von Oberflächen erläutert, bei dem mit Hilfe eines Plasmas ein Precursormaterial zur Reaktion gebracht und das Reaktionsprodukt dann auf der zu beschichtenden Oberfläche abgeschieden wird. Dieses Precursormaterial, sei es flüssig und/oder fest, wird getrennt vom Arbeitsgas in den Plasmastrahl eingespeist. Sobald, wenn eine Reaktion des eingeleiteten Materials stattfinden soll, muss eine ausreichende Erhitzung des Recursormaterials erzielt werden.

**[0006]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art vorzuschlagen, mittels welchen gut haftende Schichten auf Metall, Glas, Kunststoff oder andere Substratoberflächen aufgetragen werden können.

**[0007]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst.

**[0008]** Bevorzugte Weitergestaltungen des erfindungsgemässen Verfahrens bilden den Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

**[0009]** Besonders vorteilhaft ist die Anwendung des erfindungsgemässen Verfahrens zum Aufbringen einer Zinkschicht auf Schweiss- oder Lötstellen von verzinkten

Metallteilen oder Blechen, idealerweise direkt nach dem Schweiss- bzw. Lötvorgang in dem das Plasmatron hinter dem Schweissverfahren nachgeführt wird und die Prozesswärme des vorherigen Fügevorganges aus-  
5 nutzt, um eine verbesserte Anbindung der Zinkschicht an das Bauteil zu erreichen.

**[0010]** Das vom freien Plasmastrahl auf die Substratoberfläche aufgebrachte Pulver wird auf diese gut haftend aufgetragen, ohne dass die Substrattemperatur un-  
10 zulässig ansteigt. Dennoch wird durch diesen mikroskopischen Plasmaprozess auch unter Luftatmosphäre eine ausgezeichnete Haftung der aufgetragenen Schicht erreicht. Metallische Schichten zeichnen sich ferner durch ihren äusserst geringen Sauerstoffgehalt aus.

**[0011]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 schematisch ein Prinzip des erfindungsgemässen Verfahrens.

**[0012]** Fig.1 zeigt eine an sich bekannte Plasmadüse 1 zur Erzeugung eines freien Plasmastrahles 2, der aus einer unteren Düsenöffnung 3 des Plasmatrons 1 austritt und auf eine Substratoberfläche 4 gerichtet ist.

**[0013]** Das Plasmatron 1 weist üblicherweise ein langgestrecktes, rohrförmiges Gehäuse 5 auf, das sich im unteren Bereich 6 zu der bereits erwähnten Düsenöffnung 3 konisch verjüngt. Das metallene Gehäuse 5 ist geerdet und bildet mit der Düsen Spitze zum Beispiel eine Aussenelektrode. Ein primäres Ungleichgewichts-Plasma mit niedriger elektrischer Leistung (< 5 kW) wird innerhalb des Plasmatrons 5 - mit Box 11 angedeutet - durch hochfrequenten Wechselstrom (> 10 KHz) beispielsweise über ein Magnetron, ein RF-Plasma, eine direkte Hochspannungsentladung, einer Coronabarriereentladung oder ähnlichem erzeugt. In das Plasmatron 1 wird von oben durch eine Zuleitung 7 ein Plasma- bzw. Arbeitsgas so strömungstechnisch eingeleitet, dass dadurch das primäre Plasma stabilisiert wird (gasstabilisiertes Plasmatron und bspw. auch vortexstabilisiertes Plasmatron).

**[0014]** Als Plasma- bzw. Arbeitsgas wird vorzugsweise Luft oder auch Wasserdampf eingesetzt (kostengünstig). Der Luft können bei Bedarf noch z.B. Stickstoff, Kohlendioxid, Methan oder Edelgase beigemischt werden. Diese anderen Gase können jedoch auch in reiner Form oder in Mischungen verwendet werden. Auch sind Dämpfe anderer Flüssigkeiten in reiner Form oder in Mischungen als Plasmagase zu verwenden.

**[0015]** Der austretende atmosphärische Plasmafreistrahl 2 zeichnet sich insbesondere durch eine niedrige Temperatur (im Kernbereich < 500 °C) und geringer geometrischer Ausdehnung aus (Durchmesser typischerweise < 5 mm). Erfindungsgemäss wird nun dem freien  
50 Plasmastrahl 2 als ein fluidisiertes, feinkörniges Pulver dasjenige Material in genau dosierter Menge zugefügt, das die vorgesehene Beschichtung der Substratoberfläche bilden soll. Dort wird es infolge der Wechselwirkung

mit dem Plasma auf- oder auch nur angeschmolzen und in Richtung der zu beschichtenden Oberfläche beschleunigt, wo es sich letztlich niederschlägt. Das Pulvermaterial wird dabei aus einem Behälter 15 mittels eines Pulverförderers 16 geliefert und wahlweise in das sekundäre Plasma oder auch primäre Plasma eingeleitet.

**[0016]** Das Niedertemperaturplasma zeichnet sich dadurch aus, dass das nach Ausbildung eines elektrisch oder elektromagnetisch erzeugten primären Ungleichgewichts-Plasmas (Nichtthermisches Plasma) in einem partiell geschlossen Plasmaerzeuger, der durch geeignete Massnahmen gerichtete primäre Plasmastrahl mittels einer ringförmigen Düse am Übergang zur Umgebung (Austrittsöffnung 3) stark beschleunigt wird und sich folgedessen nach der Düse ein sekundäres Plasma bei Umgebungsdruck ausbildet. Ist die Substratoberfläche elektrisch leitend, kann zudem eine weitere Spannung (sogenannter übertragener Lichtbogen oder auch direktes Plasmatron) zwischen Düse und dem Substrat angelegt werden. Die Temperatur des Plasmas gemessen mit einem Thermoelement Typ NiCr/Ni, Spitzendurchmesser 4 mm, in 10 mm Abstand vom Düsenaustritt beträgt weniger als 900°C im Kern des sekundären Plasmastrahles (2) bei Umgebungsdruck.

**[0017]** Als Pulverförderer 16 wird vorzugsweise eine aus der PCT-Patentanmeldung Nr. PCT/EP02/10709 bekannte Vorrichtung zur Zuführung dosierter Mengen eines feinkörnigen Schüttgutes verwendet, die mindestens zwei wechselweise füll- und entleerbare Dosierkammern aufweist, wobei die Dosierkammern jeweils durch Anschluss an eine Saug- bzw. Vakuumentleitung mit dem Pulver gefüllt und durch Anschluss an eine Druckgasleitung entleert und dabei das Pulver vom Druckgas fluidisiert und pneumatisch weitergefördert wird.

**[0018]** Das Einschalten und Ausschalten des Sauganschlusses sowie das Einschalten und Ausschalten des Druckgasanschlusses erfolgt über pneumatisch und/oder hydraulisch gesteuerte Ventile. Eine solche Vorrichtung als Pulverförderer 16 erlaubt eine höchst präzise Dosierung und sowohl eine gepulste als auch eine kontinuierliche, agglomerationsfreie Zuführung des feinsten Pulvers, dessen Korngrösse im Nanometerbereich bis Mikrometerbereich (1 nm bis 100 µm) liegt. Die möglichen Ausgestaltungen eines derartigen Pulverförderers zur elektronisch steuerbaren Förderung sind der vorstehend genannten Patentanmeldung zu entnehmen und werden daher hier im Detail nicht näher beschrieben.

**[0019]** Das fluidisierte, feinkörnige Pulver wird über eine Leitung 20 in das Plasmatron 1 und dort in das sekundäre Plasma eingeführt und/oder über eine Leitung 21 direkt in den aus der Düsenöffnung 3 austretenden Plasmastrahl 2 eingeleitet. Von Vorteil ist auch eine Pulverzuführung in den sich zur Düsenöffnung 3 hin verzweigenden Bereich 6 des Plasmatrons 1 (oder in die Düsenöffnung 3 selber) über eine in Fig. 1 gestrichelt angedeutete Leitung 22. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, das Pulver über eine ebenfalls gestrichelt angedeutete Leitung 23 direkt durch das primäre Plasma hindurch in

Strömungsrichtung des Plasmastrahles bis zu der Düsenöffnung 3 zuzuführen.

**[0020]** Die Menge des für die pneumatische Förderung des Pulvermaterials benötigten Druckgases beträgt vorzugsweise 2 bis 20% der Plasmagasmenge. Der Plasmagasverbrauch liegt etwa bei 100 bis 5000 nl/h.

**[0021]** Das vom Plasmafreistrahle 2 auf die Substratoberfläche 4 aufgebrachte Pulver wird auf diese gut haftend aufgetragen, ohne dass die Substrattemperatur unzulässig ansteigt. Die Temperatur des Plasmas gemessen mit einem Thermoelement Typ NiCr/Ni, Spitzendurchmesser 3 mm, in 10 mm Abstand vom Düsenaustritt beträgt weniger als 900°C im Kern des sekundären Plasmafreistrahles bei Umgebungsdruck. Die Substrattemperaturerhöhung liegt während und nach dem Beschichtungsprozess deutlich unterhalb 100°C, vorzugsweise unter 50°C. Dennoch wird durch diesen mikroskopischen atmosphärischen Plasmaprozess eine ausgezeichnete Haftung der aufgetragenen Schicht erreicht.

**[0022]** Ein Vorteil des erfindungsgemässen Verfahrens besteht darin, dass die zu beschichtende Substratoberfläche 4 keiner speziellen Vorbereitung bedarf.

**[0023]** Eine Oberflächenreinigung kann durch den Plasmaprozess selber durchgeführt werden. Mit Vorteil wird zu diesem Zweck anfänglich ein- oder mehrmals der Plasmastrahl ohne Pulverzusatz auf die zu beschichtende Fläche gerichtet, bevor die eigentliche Beschichtung erfolgt. Dieser Vorgang dient vor allem zur Temperierung der Oberfläche und zu deren Mikro- bzw. Nanostrukturierung.

**[0024]** Das erfindungsgemässe Verfahren eignet sich ausgezeichnet beispielsweise zum Aufbringen einer Zinkschicht auf Schweiss- oder Lötstellen von verzinkten Metallteilen oder Blechen, die insbesondere in der Autoindustrie verwendet werden. Bekanntlich wird die Zinkschicht der konventionell verzinkten Metallteile oder Bleche beim Schweißen oder Löten entfernt, wodurch eine Korrosionsgefahr an solchen Stellen besteht. Mit dem erfindungsgemässen Verfahren kann ein Plasmastrahl mit genau definierter Breite auf die zu behandelnde Stelle, beispielsweise eine Schweissnaht, gerichtet werden und durch einen relativen Vorschub Substrat/Plasmadüse (z.B. 0,3 m/s) eine Zinkschicht mit einer entsprechenden Breite (z.B. 2 bis 8 mm) exakt aufgetragen werden. Als das feinkörnige, dem Plasmastrahl zugefügte Pulvermaterial wird kommerziell erhältlicher Zinkstaub verwendet. Die Pulverzufuhr liegt im Bereich von ca. 0,5 bis 10 g/min. Die erzielbaren Schichtdicken betragen typischerweise 0,1 bis 100 Mikrometer pro Überlauf. Die Vorrichtung kann direkt dem Schweißprozess nachlaufend angewendet werden (In-Line Prozess).

**[0025]** Selbstverständlich können auch andere Materialien (Metalle, Keramiken, Thermoplaste oder auch deren Mischungen etc.) auf andere Substratflächen (Metall, Glas, Kunststoff etc.) mit dem erfindungsgemässen Verfahren aufgetragen werden und Funktionsschichten wie beispielsweise Schutz-, Verschleiss-, Isolierschichten oder auch Schichten mit antibakteriellen, selbstreinigen-

den oder auch katalytischen Eigenschaften bilden. Das Verfahren kann aber auch zu medizinischen Zwecken genutzt werden und beispielsweise zum Aufbringen von biologisch aktiven Schichten auf Hautersatz oder Knochenimplantaten dienen, mit Ziel einer schnelleren und verbesserten Integration des Implantates in das menschliche Gewebe.

**[0026]** Das Verfahren kann auch zum dosierten bzw. schonenden und gezielten Vormetallisieren oder Metallisieren von Kunststoffen, Papier, Halbleitern oder Nichtleitern, beispielsweise zur Herstellung elektrisch leitfähiger Schichten aus Zn, Cu oder Ag auf Si-Wafern, angewendet werden.

**[0027]** Des Weiteren kann das Verfahren angewendet werden zur zersetzungsfreien Aufbringung von gut haftenden Schichten aus Kunststoffen, wie Polyamid, oder Hochleistungs-Kunststoffen, wie PEEK ohne oder mit Zusätzen von anorganischen nanometer- bis einige Mikrometergrosse Partikel auf Kunststoffe, Holz, Papier oder Metalle.

**[0028]** Wird das in den Plasmastrahl eingegebene Pulver oder Pulvergemisch nachfolgend nicht auf eine Oberfläche als Schicht aufgetragen, sondern über eine geeignete Vorrichtung gefangen, ergeben sich Pulver mit gezielt chemisch und oder physikalisch veränderter Oberfläche. Diese Pulver können dann als verbessertes oder neues Vorprodukt für andere Prozesse dienen (bspw. Änderung des hydrophoben Verhaltens von Russ in ein hydrophiles Verhalten).

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Beschichtung einer Substratoberfläche (4) unter Verwendung eines Plasmastrahles (2), dem ein feinkörniges, die Beschichtung bildendes Pulver mittels eines steuerbaren Pulverförderers (16) in dosierter Menge zugefügt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf die Substratoberfläche (4) ein Strahl (8, 2) eines Niedertemperaturplasmas gerichtet wird, welchem dieses Pulver in dosierter Menge zugeführt wird, wobei die Substrattemperaturerhöhung während und nach dem Beschichtungsprozess unterhalb 100°C, vorzugsweise unter 50°C, liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Korngrösse des feinkörnigen Pulvers oder der Pulvergemische im Nanometerbereich zwischen 1 Nanometer bis 100 Mikrometer liegen kann.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das feinkörnige Pulver aus einem Behälter (15) mittels eines mindestens zwei wechselweise füll- und entleerbare Dosierkammern aufweisenden Pulverförderers (16) geliefert wird, wobei die Dosierkammern jeweils durch Anschluss an eine Saug- bzw. Vakuumleitung mit dem Pulver gefüllt und durch Anschluss an eine Druckgasleitung entleert und dabei das Pulver vom Druckgas fluidisiert und pneumatisch weitergefördert wird, wobei das Einschalten und Ausschalten des Sauganschlusses sowie des Druckgasanschlusses über pneumatisch und/oder hydraulisch gesteuerte Ventile erfolgt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Plasma in einer Plasmadüse (1) unter Zuführung eines Arbeitsgases und/oder einer verdampfbaren Flüssigkeit und Erzeugung einer Entladung die durch Hochspannung oder hochfrequenter elektrischer und/oder elektromagnetischer Einkopplung entsteht und der primäre Plasmastrahl (8) durch eine als Düse ausgeformte Öffnung (3) des Plasmatröns (1) zu der Substratoberfläche (4) ausgeblasen wird, wobei das feinkörnige Pulver in das primäre Plasma eingeleitet und von dort in den sekundären Plasmastrahl (2) gelangt und/oder direkt in den aus der Düsenöffnung (3) austretenden sekundären Plasmastrahl (2) eingeleitet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das feinkörnige Pulver in einen sich zur Düsenöffnung (3) hin verjüngenden Bereich (6) der Plasmadüse (1) eingeleitet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das feinkörnige Pulver direkt (23) in das primäre Plasma eingegeben wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckgasmenge zur pneumatischen Förderung (20) des feinkörnigen Pulvers 2 bis 20% der Plasmagasmenge (7) beträgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Arbeits- bzw. Plasmagas Luft verwendet wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Niedertemperaturplasma nach Ausbildung eines elektrisch oder elektromagnetisch erzeugten primären Ungleichgewichts-Plasmas in einem partiell geschlossenen Plasmaerzeuger, der gerichtete primäre Plasmastrahl mittels einer ringförmigen Düse (3) am Übergang zur Umgebung stark beschleunigt wird und sich folgedessen nach der Düse ein sekundäres Plasma bei Umgebungsdruck ausbildet.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Substratoberfläche (4) durch den sekundären Plasmastrahl (2) ohne Pulverzufuhr gereinigt und/oder Mikro- bzw. Nano-

strukturiert wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erzeugung des primären Plasmas (8) ein hochfrequenter Wechsel- oder Gleichstrom mit Frequenzen von 10 kHz bis 10GHz und einer elektrischen Leistung von weniger als 5 kW verwendet werden.
12. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das feinkörnige Pulver in eine wässrige Suspension überführt und mit Hilfe wenigstens einer Fördereinheit dem Plasma zugefügt wird.
13. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zum Aufbringen einer Zinkschicht auf Schweiss- oder Lötstellen von verzinkten Metallteilen oder Blechen.
14. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zum Aufbringen von Loten mit und ohne Flussmittel auf Bauteile.
15. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zum Aufbringen Kupferschichten.
16. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zum dosierten Vormetallisieren oder Metallisieren von Kunststoffen, Papier, Halbleitern oder Nichtleitern, wie zur Herstellung elektrisch leitfähiger Schichten aus Zn, Cu oder Ag auf Si-Wafern.
17. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zur zersetzungsfreien Aufbringung von Schichten aus Kunststoffen, wie Polyamid, oder Hochleistungs-Kunststoffen, wie PEEK ohne oder mit Zusätzen von anorganischen nanometer- bis einige Mikrometer-grosse Partikel auf Kunststoffe, Holz, Papier oder Metalle.

## Claims

1. Method for coating a substrate surface (4) using a plasma beam (2), to which a fine granular powder forming the coating is added in metered amount by a controllable device as powder feed (16), **characterised in that** a beam (8, 2) of a low-temperature plasma is directed at the substrate surface (4), to which this powder is added in metered amount, whereby the substrate temperature increase during and after the coating process lies below 100°C, preferably under 50°C.
2. Method according to claim 1, **characterised in that** the particle size of the fine granular powder or of the powder mixture can be in the nanometre range be-

tween 1 nanometre to 10 micrometres.

3. Method according to claim 1 or 2, **characterised in that** the fine granular powder is supplied from a container (15) by means of a powder feeder (16) which has at least two dosing chambers which alternately can be filled and emptied, whereby the dosing chambers are each filled with the powder by connection to a suction or vacuum line, and emptied by connection to a pressure gas line and thereby the powder is fluidized by the pressure gas and conveyed onwards pneumatically, whereby the suction and the pressure gas connections are opened and closed via pneumatically and/or hydraulically controlled valves.
4. Method according to anyone of the claims 1 to 3, **characterised in that** the plasma is created in a plasma nozzle (1) under the introduction of a working gas and/or of a vaporable fluid and generation of a discharge which is initiated by high voltage and/or high-frequency electrical and/or electromagnetic coupling and the primary plasma beam (8) is blown out through an opening (3) of the plasmatron (1) in the form of a nozzle onto the substrate surface (4), whereby the fine granular powder is introduced into the primary plasma, and from there goes into the secondary plasma beam (2) and/or is introduced directly into the secondary plasma beam (2) emerging from the nozzle opening (3).
5. Method according to claim 4, **characterised in that** the fine granular powder is introduced into an area (6) of the plasma nozzle (1) tapering towards the nozzle opening (3).
6. Method according to claim 4, **characterised in that** the fine granular powder is fed directly (23) into the primary plasma.
7. Method according to one of the claims 3 to 6, **characterised in that** the volume of pressure gas for pneumatic feeding (20) of the fine granular powder amounts to 2 to 20% of the plasma gas volume (7).
8. Method according to one of claims 4 to 7, **characterised in that** air is used as working and/or plasma gas.
9. Method according to one of the claims 1 to 8, **characterised in that** in the low-temperature plasma, after forming an electrically or electromagnetically generated primary non-equilibrium plasma in a partially-closed plasma generator, the primary plasma beam, directed by suitable means, is powerfully accelerated by means of an annular nozzle (3) at the transition to the environment and consequently a secondary plasma forms after the nozzle at ambient

pressure.

10. Method according to one of the claims 1 to 8, **characterised in that** the substrate surface (4) is cleansed and/or micro- or nanostructured by the secondary plasma beam (2) without the addition of powder.
11. Method according to one of the claims 4 to 10, **characterised in that** a high-frequency alternating or direct current at frequencies of between 10 kHz to 10 GHz and an electrical power of less than 5 kW is used to generate the primary plasma (8).
12. Method according to claim 1 or 2, **characterised in that** the fine granular powder is converted into an aqueous suspension and added to the plasma with the aid of at least one feeder unit.
13. Application of the method according to one of claims 1 to 12 to deposit a zinc coating on welding or solder points of galvanised metal parts or sheets.
14. Application of the method according to one of the claims 1 to 12 for the deposition of solder, with and without flux, onto components.
15. Application of the method according to one of the claims 1 to 12 for the deposition copper coatings.
16. Application of the method according to one of the claims 1 to 12 for metered pre-metallisation or metallisation of plastics, paper, semiconductors or dielectrics, like for the manufacture of electrically-conductive coatings made from Zn, Cu or Ag on Si wafers.
17. Application of the method according to one of the claims 1 to 12 for non-decomposing deposition of coatings made from plastics, such as polyamide, or high-performance plastics, such as PEEK with or without additives of anorganic particles with a size in the nanometre to a few micrometres range, made from plastics, wood, paper or metals.

#### Revendications

1. Procédé de revêtement d'une surface de substrat (4) réalisé en utilisant un jet de plasma (2), auquel on ajoute en quantité dosée une poudre de fine granulométrie formant le revêtement au moyen d'un convoyeur de poudre pouvant être commandé (16), **caractérisé en ce que** l'on dirige sur la surface de substrat (4) un jet (8, 2) de plasma à faible température, auquel est ajoutée cette poudre en quantité dosée, de sorte que l'augmentation de température du substrat se situe, pen-

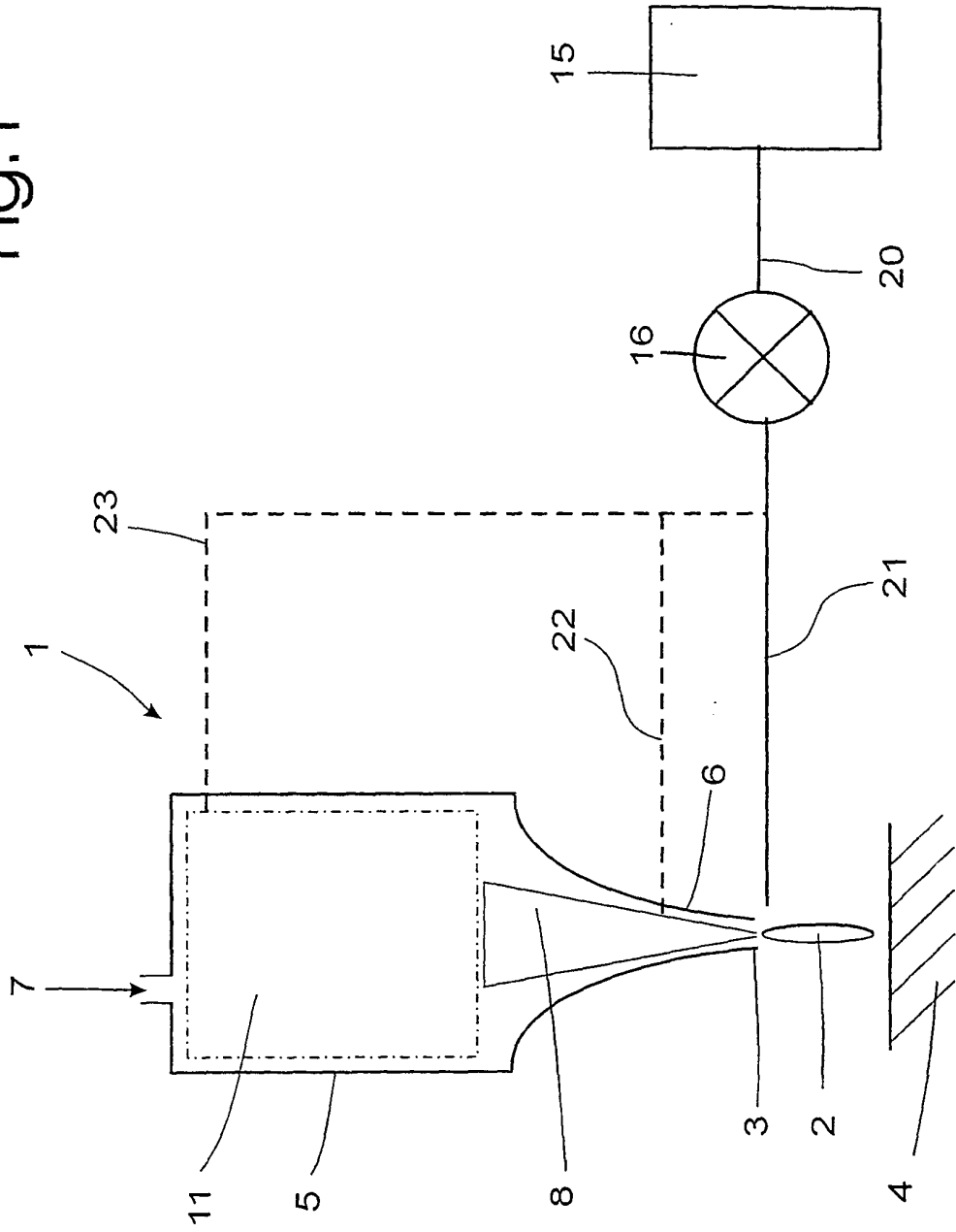
dant et après le processus de revêtement, en dessous de 100 °C, de préférence, en dessous de 50 °C.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la taille particulière de la poudre de fine granulométrie ou du mélange pulvérulent peut se situer dans la plage nanométrique comprise entre 1 nanomètre et 100 micromètres.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la poudre de fine granulométrie est délivrée à partir d'un récipient (15) au moyen d'un convoyeur de poudre (16) présentant au moins deux chambres de dosage pouvant être remplies ou vidées en alternance, les chambres de dosage étant, respectivement, remplies de poudre par raccordement à une conduite d'aspiration ou à une conduite sous vide, et vidées de la poudre par raccordement à une conduite de gaz comprimé, de sorte que la poudre soit fluidisée par le gaz comprimé, puis acheminée par voie pneumatique, dans lequel la mise en marche et hors marche du raccordement d'aspiration, ainsi que du raccordement à gaz comprimé, sont réalisées par le biais de soupapes à commande pneumatique et/ou hydraulique.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le plasma est formé dans une buse à plasma (1) en acheminant un gaz de travail et/ou un liquide évaporable et en produisant une décharge qui est générée sous haute tension ou par le biais d'une alimentation électrique et/ou électromagnétique à haute fréquence, et **en ce que** le jet de plasma primaire (8) est projeté, à travers une ouverture (3) du plasmatron(1), conformée en buse, sur la surface de substrat (4), dans lequel la poudre de fine granulométrie est délivrée dans le plasma primaire et, de là, dans le jet de plasma secondaire (2) et/ou est directement délivrée dans le jet de plasma secondaire (2) qui sort de l'ouverture (3) de la buse.
5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la poudre de fine granulométrie est acheminée dans une zone (6) de la buse à plasma (1) s'amincissant vers l'ouverture (3) de la buse.
6. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la poudre de fine granulométrie est délivrée directement (23) dans le plasma primaire.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, **caractérisé en ce que** la quantité de gaz comprimé destinée au transport pneumatique (20) de la poudre de fine granulométrie représente 2 à 20 % de la quantité de gaz de plasma (7).
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications

- 4 à 7, **caractérisée en ce que** l'on utilise de l'air comme gaz de travail ou gaz de plasma.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** le plasma à faible température obtenu après formation d'un plasma primaire en déséquilibre généré par voie électrique ou électromagnétique dans un générateur de plasma partiellement fermé, accélère fortement le jet de plasma primaire dirigé au moyen d'une buse en forme d'anneau (3) à la jonction avec l'environnement et il se forme, en conséquence, après la buse, un plasma secondaire à pression ambiante. 5 10
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** la surface de substrat (4) subit un nettoyage ou une microstructuration ou une nanostructuration par le jet de plasma secondaire (2) en l'absence d'une alimentation en poudre. 15 20
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 10, **caractérisé en ce que** l'on utilise, pour la production du plasma primaire (8), un courant alternatif ou continu à haute fréquence, dont les fréquences se situent dans la plage de 10 kHz à 10 GHz, et une puissance électrique inférieure à 5 kW. 25
12. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la poudre de fine granulométrie est transférée dans une suspension aqueuse et est acheminée au plasma à l'aide d'au moins une unité de transport. 30
13. Utilisation du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12 dans le but d'appliquer une couche de zinc sur des points de brasage ou de soudure de pièces métalliques ou de tôles galvanisées. 35
14. Utilisation du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12 dans le but d'appliquer des soudures avec et sans fondant sur des composants. 40
15. Utilisation du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12 dans le but d'appliquer des couches de cuivre. 45
16. Utilisation du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12 en vue d'effectuer une pré-métallisation ou une métallisation dosée de matériaux synthétiques, de papier, de semi-conducteurs ou de composants non conducteurs, notamment pour la fabrication de couches électroconductrices de Zn, Cu ou Ag, sur des tranches de Si. 50
17. Utilisation du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12 dans le but d'appliquer, sans provoquer de décompositions, des couches de matériaux synthétiques, tels que du polyamide, ou de

matériaux synthétiques de hautes performances, tels que le PEEK, en ajoutant ou non des particules inorganiques d'une taille allant du nanomètre à quelques micromètres, sur des matériaux synthétiques, du bois, du papier ou des métaux.

Fig. 1



**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**

- WO 03029762 A [0003]
- WO 0132949 A [0005]
- EP 0210709 W [0017]